

Н. А. БАРАНОВА и Я. С. ШУР

О ПРОЦЕССАХ НАМАГНИЧИВАНИЯ, ОБУСЛОВЛИВАЮЩИХ
ЯВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА
В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

(Представлено академиком И. К. Кикоиным 30 XI 1953)

1. Явление температурного магнитного гистерезиса (т. м. г.) состоит в том, что при циклическом изменении температуры ферромагнетика, помещенного в слабое постоянное магнитное поле, его намагниченность изменяется с температурой необратимо. Явление т. м. г. было подробно изучено на ряде ферромагнетиков. При этом было обнаружено, что относительная величина гистерезиса наибольшая при приложении слабо магнитного поля; в полях, где завершаются процессы смещения, гистерезис исчезает. Из этих экспериментальных результатов делалось предположение, что т. м. г. имеет место лишь тогда, когда процессы намагничивания протекают путем процессов смещения (1, 2). Однако такое объяснение казалось несколько искусственным при анализе явления т. м. г., обнаруженного в высококоэрцитивных сплавах, у которых предполагается, что процессы смещения вообще не могут иметь места, так как эти сплавы, по ряду соображений должны иметь однодоменную магнитную структуру (3).

В связи с этим возникла необходимость в постановке таких измерений, когда имеется возможность изучать явление т. м. г. на образце, в котором можно искусственно создавать условия, при которых процессы технического намагничивания протекают в основном либо путем смещения либо вращения. В частности, поставленная задача может быть разрешена при изучении явления т. м. г. на образцах никеля, подвергнутого упругому растяжению; при этом в зависимости от величины растягивающих усилий в образце могут преобладать процессы смещения или вращения. В этом плане и проводилась настоящая работа.

2. Изучение т. м. г. проводилось нами на образцах никеля в форме длинных и тонких проволок (длина 100 мм, диаметр 0,3 мм) в интервале температур $-195 \div +20^\circ$, в постоянных магнитных полях: 6; 12; 23; 35; 47 и 59 эрст. Исследуемый образец предварительно проходил высокотемпературный отжиг в вакууме и затем подвергался небольшому однородному остаточному растяжению. Последнее проводилось с той целью, чтобы во время растяжения образца при измерениях т. м. г. не возникло пластической деформации. Все измерения производились при помощи астатического магнитометра по методике, описанной ранее (1).

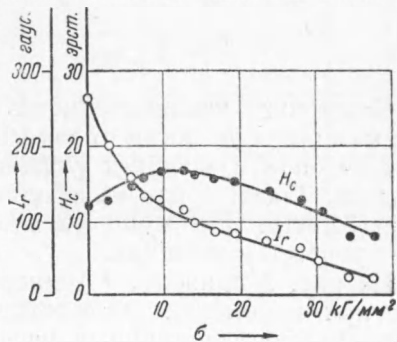


Рис. 1

Перед началом измерений образец охлаждался до температуры -195° , растягивался соответствующей нагрузкой и размагничивался.

3. Результаты измерения приведены на рис. 1—4. На рис. 1 показано изменение величины коэрцитивной силы H_c и остаточной намагниченности I_r образца никеля, на котором в дальнейшем изучался т. м. г., под действием упругих напряжений σ . Как видно из кривых рис. 1, с ростом σ величина H_c сперва возрастает, при $\sigma \sim 10-13$ кГ/мм²

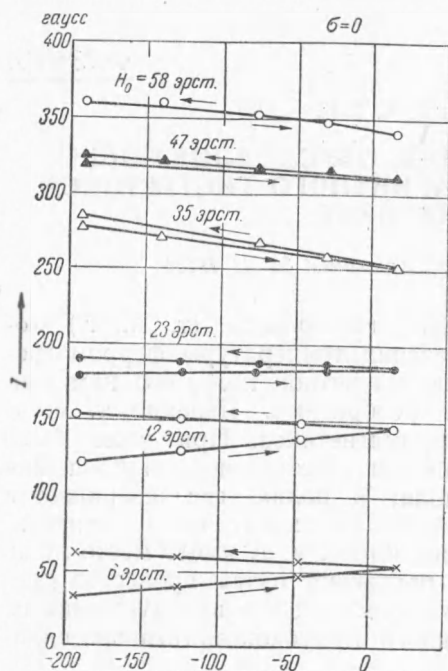


Рис. 2

Остаточная намагниченность при возрастании σ монотонно убывает, так как по мере роста σ намагниченность доменов удерживается все сильнее под большими углами к направлению, параллельному оси образца. Таким образом, из кривых рис. 1 следует, что при больших σ мы имеем преимущественно процессы вращения, а при слабых σ — процессы смещения.

На рис. 2 приведены температурные кривые намагниченности, снятые при изменении температуры в интервале $-195 \div +20 \div -195^\circ$ в присутствии постоянных магнитных полей H_0 , равных 6; 12; 23; 35; 47 и 58 эрст. Из кривых рис. 2 следует, что по мере роста поля H_0 т. м. г. относительно убывает и при $H_0 = 60$ эрст. практически исчезает.

На рис. 3 представлены аналогичные кривые для двух полей $H_0 = 6$ и 23 эрст., измененные на образце, подвергнутом различному растяжению σ , равному 0; 14,2; 28,4 и 35,0 кГ/мм². Из кривых рис. 3 видно, что с ростом нагрузки убывает т. м. г. и при $\sigma = 35$ кГ/мм² гистерезис исчезает полностью.

На рис. 4 приведены кривые относительно изменения намагниченности $\frac{I_1 - I_0}{I_0} = \frac{\Delta I}{I_0}$ в результате завершения температурного цикла

H_c достигает максимума; при $\sigma = 28,5$ кГ/мм² величина H_c имеет значение, равное исходному (при $\sigma = 0$); дальнейшее возрастание σ приводит только к убыванию величины H_c .

Наблюдаемая зависимость $H_c(\sigma)$ объясняется следующим образом. При слабых растяжениях часть векторов намагниченности I_s доменов составляет с осью образца больший угол, чем до приложения σ . Так как при этом процессы намагничивания в основном происходят путем смещения, то этот поворот I_s доменов должен вызвать рост H_c^* . При больших σ растяжение никелевого образца, обладающего отрицательной магнитострикцией, приводит к тому, что все вектора I_s доменов устанавливаются в плоскости, перпендикулярной оси образца, вследствие чего процессы намагничивания протекают в основном путем обратимого вращения, что и приводит к уменьшению H_c .

* Как известно (4), при наличии анизотропии магнитных свойств в образце имеем $H_c = H_0 / \cos \alpha$, где α — угол между направлением внешнего поля и намагниченностью, H_0 — наименьшее значение H_c при $\alpha = 0$.

(I_0 — исходное значение намагниченности, I_1 — после окончания цикла) в зависимости от величины поля H_0 , снятые при различных σ . Из этих кривых видно, что по мере возрастания σ величина $\Delta I / I_0$ резко уменьшается.

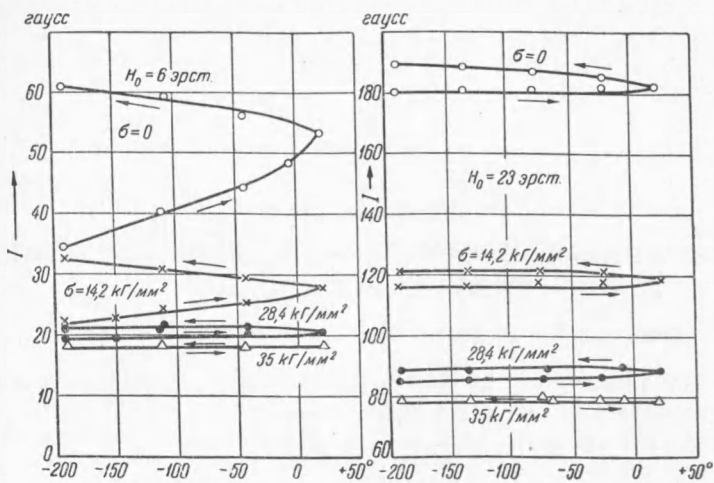


Рис. 3

4. Как следует из кривых рис. 1, в наших опытах изучение явления т. м. г. может производиться на образце, в котором мы в состоянии создать условия, обеспечивающие протекание в нем процессов смещения или процессов вращения. Сопоставляя результаты измерения зависимости $I(T)$ при циклическом изменении температуры, снятые при различных σ (кривые рис. 2—4), с данными рис. 1, можно сделать основной вывод, что явление т. м. г. имеет место только при наличии процессов смещения и исчезает в том случае, когда имеют место одни процессы вращения.

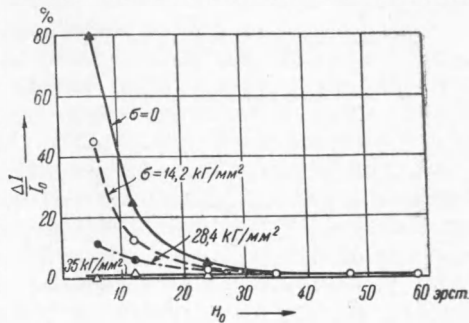


Рис. 4

Отсюда также вытекает, что т. м. г., обнаруженный на образце высококоэрцитивного сплава магнико после его охлаждения в продольном магнитном поле⁽³⁾, вызван тем, что наряду с однодоменной структурой (повидимому, основной) в сплаве имеется также некоторая примесь ферромагнитных образований (изолированных друг от друга), состоящих из нескольких доменов, в которых возможно протекание процессов смещения.

Институт физики металлов
Уральского филиала
Академии наук СССР

Поступило
12 XI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Я. С. Шур, В. И. Дрожжина, ЖЭТФ, 17, 607 (1947). ² Я. С. Шур, Н. А. Баранова, ЖЭТФ, 20, 183 (1950). ³ Я. С. Шур, Н. А. Баранова, В. А. Зайкова, ДАН, 81, 557 (1951). ⁴ С. В. Вонсовский, Я. С. Шур, Ферромагнетизм, М., 1948.